BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

8

REC'D 18 JUL 2001
WIPO PCT

PCT/DE01/01568

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:	100 22 349.4
Anmeldetag:	08. Mai 2000
Anmelder/Inhaber:	Dr. Norbert Lauinger, Wetzlar/DE
Bezeichnung:	Diffraktiver 3D-gitteroptischer Sensor mit trichromatischer Farbkonstanz bei der Adaptation an variable Beleuchtungen
IPC:	G 01 J, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Juni 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
08/00
EDV-L

Diffraktiver 3D-gitteroptischer Sensor mit trichromatischer Farbkonstanz bei der Adaptation an variable Beleuchtungen.

N.LAUINGER
CORRSYS GmbH WETZLAR

Vorbemerkungen:

Seit O.Lummer [8] und der industriellen Entwicklung von tageslichtähnlichen Beleuchtungskörpern liegt die Erfahrung vor, daß zwischen Sonnenlicht und menschlichem Sehen eine – bisher unerklärte – ‚Resonanz' besteht. Hieraus resultierten alle bisherigen Empfehlungen, das Spektrum der künstlichen Lichtquellen dem Sonnenlichtspektrum anzunähern. Insbesondre treten bei der Farbwahrnehmung im photopischen Tagessehen beim Wechsel von Beleuchtungen mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung der Strahlung Verschiebungen der Farbwerte auf, die adaptiv im menschlichen Sehen nach kürzerer oder z.T. längerer Zeit durch näherungsweise ‚Farbkonstanz'-Leistungen des Auges ausgeglichen werden. Als – unvollständiges – Erklärungsmodell hierfür dient derzeit das v.Kries-Modell, das die Adaptivität den Sehpigmenten der Retina zuspricht. Daneben bestehen – noch unvollständigere – kortikale Erklärungsmodelle [1,2,3]. Der Bedarf wächst, in Zukunft über Farbsensoren zu verfügen, die „Farbwerte unter Bezug auf die spektralen Empfindlichkeitskurven des menschlichen Sehens" messen können [10] und unter Adaptation an künstliche Beleuchtungen eine dem menschlichen Sehen entsprechende näherungsweise Farbkonstanz gewährleisten. Andererseits wiederum ist vielfach dokumentiert worden, daß der photopische Sehprozess nicht allein durch die spektralen Hellempfindlichkeiten der einzelnen Zapfen charakterisiert werden kann [6]. Die sehr viel komplexere Arbeitsweise des Sehsinns erfordert zur Beurteilung vieler Sehaufgaben die Kennnis der Leuchtdichte-verteilung im gesamten Sehfeld [5]. Das menschliche Sehen „basiert nicht auf dem Reiz-Reaktionsverhalten einzelner Pixel. Es verrechnet die relativen Werte über das gesamte Gesichtsfeld." [11]. Neben chromatischen Adaptationseffekten beeinflußt Streuung von Licht an Augenmedien die Ausdehnung der den Farbenraum zentrierenden achromatischen Achse (Schwarz-Grau-Weiß-Achse) [9]. Es ist deshalb illusorisch zu glauben, daß Spektralphotometer – selbst wenn sie auf die Erfassung überlappender RGB-Werte ausgelegt sind – die idealen Instrumente der zukünftigen Farbmetrik und –bestimmungen darstellen werden. Ebenso unvollständig ist eine Farbmesstechnik, die darauf verzichtet, jeweils die Trias ‚Helligkeit, Farbton, Sättigung' gleichzeitig und unter Bezug auf ein Ganzfeld zu bestimmen.

Merkmale der vorgelegten Erfindung

Ein erstes wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin, daß durch Einlagerung eines diffraktiven Mehrschichten- (3D-) Gitters in die Bildebene eines abbildenden Linsen-Pupillen-Systems im Nahfeld hinter dem Gitter (Fresnel-/Talbot-Raum; Fourierraum bzw. reziprokes Gitter) drei chromatische Beugungsordnungen (RGB-Tripel) mit jeweils sechs diskreten Interferenzmaxima auf zueinander konzentrischen Kreisen verfügbar werden (Abb.1), wie sie bei hexagonaler Gitterstruktur durch die aus der Kristalloptik bekannte v.Laue-Gleichung beschrieben werden (Tab.1). Wesentliche Funktionalitäten des entsprechenden technischen Aufbaus eines 3D-gitteroptischen RGB-Sensors wurden in der Patentschrift [7] beschrieben.

Ein zweites wesentliches Merkmal der Erfindung, das zu der bisherigen Beschreibung neu hinzukommt und die Grundlage der Farbkonstanzleistung des 3D-gitteroptischen Sensors bei Adaptation an variable Beleuchtungen darstellt, besteht darin, daß der Sensoraufbau in Abb.1 erweitert und wie folgt ausgelegt wird:

1. In die Pupillenebene (Aperturraum) der Abbildungsoptik in Abb.1 wird eine Streuscheibe S bzw. ein oder mehrere lichtstreuende Gitter G eingelagert. Deren Funktion ist darin zu sehen, daß sie die an jedem Ort in der Pupille gleichermaßen vorliegende Information, nämlich die Summe der spektralen Intensitäten und Ortsfrequenzwerte, die von sämtlichen Gegenständen im Objektraum in die Pupille eingestrahlt werden und zur optischen Abbildung beitragen, diffus als ‚inkohärenten Untergrund' in die Bildebene streuen. Dadurch wird jedem lokalen Bildort die globale Information über das gesamte Gesichtsfeld (Ganzfeld) unterlegt, gegenüber der sich jeder lokale Bildpunkt absetzen muß, indem er sich von ihr differenziert (in Helligkeit, Farbton, Sättigung u.a.). Damit aber bleibt jede lokale Information auf den globalen Unter- oder Hintergrund, das Ganzfeld, relativiert.

2. Sämtliche Linsen, Streuscheiben oder Gitter werden so ausgelegt, daß sie ausschließlich für elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Spektrum (380 – 780nm) transparent sind und somit diese eine Oktav der Wellenlängen bzw. Frequenzen mit eindeutigen Absorptionskanten abgrenzen. Diese Randbedingung ist deshalb von Bedeutung, weil damit spektrale Helligkeitswerte, die durch Variation der Beleuchtungen zustandekommen könnten, an diesen Absorptionskanten abgeschnitten werden.

3. Im Nahfeld hinter dem diffraktiven 3D-Gitter werden die einem lokalen Bildpunkt zugeordneten RGB-Interferenzmaxima (3x6 konzentrische Maxima) derart über – in ihrer spektralen Empfindlichkeit konstant auf weißes (in allen spektralen Komponenten energiegleiches) Sonnenlicht eingestellte Photoempfänger - zusammengeschaltet, daß eine lokale RGB-Summe als trichromatisch-additiver Helligkeitswert mittels einer entsprechenden Software gebildet werden kann. Hierdurch werden RGB-Gleich- und –Ungleichgewichte differenzierbar. RGB-Gleichgewichte entsprechen im Objektraum sichtbaren farblosen Oberflächen oder Beleuchtungen (Schwarz-Grau-Weiß-Objekten). Sind Beleuchtungen nicht sichtbar, sondern nur über farblose Gegenstände oder Oberflächen erschließbar, so werden sie in ihrer spektralen Charakteristik durch graue oder weiße Flächen – sog. Spiegel der Beleuchtungen – repräsentiert. Der Bildort mit einem RGB-Gleichgewicht, der die größte Summenhelligkeit erreicht, liefert die sog. Weiß-Norm und definiert damit die Spitze der den Farbenraum zentrierenden achromatischen Achse. Ersatzweise übernimmt der Bildort, dessen RGB-Werte sich einem Gleichgewicht am meisten nähern, diese Bereitstellung einer Weiß-Norm. Hieraus erklärt sich, daß sich die Weiß-Norm im trichromatischen Raum verlagern kann.

Diese Auslegung eines diffraktiven 3D-gitteroptischen Sensors, der trichromatische RGB-Werte in drei Beugungsordnungen bereitstellt, gewährleistet Farbkonstanz, wenn mit dem plötzlichen oder allmählichen Wechsel der Beleuchtung im Objektraum ein resonatorischer, d.h. an die spektrale Zusammensetzung der Beleuchtungen adaptiver Mechanismus im 3D-Gitter gewährleistet wird, der einer ‚chromatischen Stimmung des 3D-Gitters' entspricht. Bei einer ‚weißen' Beleuchtung, d.h. einer dem mittleren Sonnenlicht entsprechenden energiegleichen spektralen Zusammensetzung des sichtbaren Lichts (Abb.2) sind die drei Gitterkonstanten in xyz-Achsenrichtung auf die ROT-Wellenlänge (559nm) gestimmt (mit stehender Wellenbildung in x- und z-Achsenrichtung, d.h. Resonanz im 3D-Gitter). Damit resultieren unter den 3 Gauß'schen spektralen Hellempfindlichkeitskurven der Photorezeptoren (Zapfen im menschlichen Sehen) identische Werte (RGB-Gleichgewichte). Die Weiß-Norm wird über die RGB-Summenwerte der drei Gaußkurven bestimmt, die zu den Wellenlängen 559nmROT/537nmGRÜN/447nmBLAU zentriert sind.

Nach einem plötzlichen oder allmählichen Wechsel der Beleuchtung findet ein chromatisch getriggerter resonatorischer Umbau der Gitterkonstanten im diffraktiven 3D-Gitter statt. Dies illustriert die Abb.3, in der die Beleuchtung zum längerwelligen Bereich des Spektrums hin verschoben wurde. Bricht – wie dies die Abb.4 zeigt – damit die Weiß-Norm in dem noch auf 559nmROT gestimmten 3D-Gitter plötzlich zusammen und greift dann der adaptive Mechanismus der Shift der Weiß-Norm in Richtung der geänderten Beleuchtung, so erreicht das Gitter bei einer chromatischen Stimmung auf 728nmROT ein neues RGB-Gleichgewicht. Damit ist der trichromatisch-additive Farbenraum erneut zu einer achromatischen Achse zentriert, die „Farben stimmen wieder", werden wieder als „stimmig" erlebt.

Die Abb.5 illustriert denselben adaptiven resonatorischen Vorgang für den Fall, daß die Beleuchtung zum kürzerwelligen Teil des Spektrums hin verschoben wurde. Bricht hierbei – wie dies die Abb.6 zeigt – die Weiß-Norm in dem noch auf 559nmROT gestimmten 3D-Gitter plötzlich zusammen, so erreicht das Gitter bei einer chromatischen Stimmung auf 513nm ein neues RGB-Gleichgewicht.

Der adaptive Prozess, der im Ergebnis zu einer trichromatischen Neunormierung des Farbenraums in einer veränderten Weiß-Norm führt, ist über die v.Laue-Gleichung der Kristalloptik beschreibbar. Der eigentliche Resonanzfaktor ist die Phasengeschwindigkeit im Medium [4]. Die spektrale Triggerung der Gitterkonstantenmaße entspricht dem Temperatur-Ausdehnungskoeffizienten für die ROT-Wellenlänge im RGB-Tripel. Es gilt dementsprechend, diesen Ausdehnungskoeffizienten bei einer technischen Lösung zu simulieren. Dies ist durch dosierte IR-, also thermische Einstrahlung in das 3D-Gitter möglich oder durch Veränderung des Innendrucks im Gitter. Die technische Realisierung dieser ‚Resonanz'-Funktionalität in entsprechenden Gittermaterialien würde es möglich machen, die Farbkonstanzeigenschaften des menschlichen Sehsystems zu gewährleisten

Relevanz eines Farbkonstanz-Sensors für bestimmte technische Anwendungsgebiete

Ein Farbkonstanz-Sensor, der in Form eines mit dem ‚Schwerpunkt' der spektralen Komponenten einer Lichtquelle bzw. Beleuchtung resonanzfähigen 3D-Gitters bzw. Vorverarbeitungsfilters technisch darstellbar ist, hat für alle Anwendungen, in denen die Farbe von Stoffen und Materialien nach dem Farbeindruck, dem die Gesetzmäßigkeit des menschlichen Farbensehens zugrundeliegt, erkannt, differenziert und klassifiziert werden müssen, große Bedeutung. Gleichzeitig für jede dementsprechende Beurteilung von an Farbtoncharakteristiken gebundenen Eigenschaften sichtbarer Objekte, sei es in der optischen Bildverarbeitung generell, sei es bei Sehautomaten in der Robotik oder autonom fahrenden Fahrzeugen, ja selbst bei Blindensensoren. Gleichzeitig vermag es Farbwahrnehmungen unter künstlichen Lichtquellen vorhersagbar und meßbar machen. Da ein derartiges 3D-Gitter eine Transformation der physikalischen Parameter (Intensität und Wellenlängen) in die psychologische Trias von Helligkeit, Farbton und Sättigung leistet, werden mit seiner Hilfe auch Helligkeits- und Sättigungswerte von Objektflächen kalkulierbar.

Literaturhinweise:

[1] Bäuml, K.-H.; Color constancy: the role of image surfaces in illuminant adjusstment. JOSA A, Vol.16, No.7 (1999), 1521-1530

[2] Bäuml, K.-H.; Simultaneous color constancy: how surface color perception varies with the illuminant. Vision Research 39 (1999), 1531-1550

[3] Brainard, D.H.; Color constancy in the nearly natural image. 2.Achromatic loci. JOSA A, Vol.15, No.2 (1998), 307-325

[4] Ewald, P.P.; Crystal Optics for Visible Light and X Rays. Reviews of Modern Physics, Vol.37,1 (1965), 46-56

[5] Fischbach, I.; Rieman, M.; Schmidt, F. Licht, Bd.49 (1997) Heft 7/8, 582-587

[6] Hamm, M.; Untersuchung der spektralen Schwellenempfindlichkeit und der Reizverarbeitungszeiten im menschlichen Auge. Diss.(1997) TU Darmstadt

[7] Lauinger,N.; Verfahren und Vorrichtung zur genauen Bestimmung von objektbezogenen Parametern wie räumliche Abstände und/oder Abstandsänderungen bei Bewegung und/oder Orientierung und/oder Farbe, Form, Textur, insbesondere zum Zweck der genauen und intelligenten Steuerung von Automaten. Patent 19549074 BRD (1998) und 5982483 USA (1999)

[8] Lummer,O.; Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik (Auge und Lichterzeugung), München (1918)

[9] Stiehl, W.A.; J.J.McCann; R.L.Savoy; Influence of intraocular scattered light on lightness-scaling experiments. JOSA Nov.73, No.9 (1983), 1143-1148

[10] McCann, J.J.; Color Imaging Systems and Color Theory: Past, Present and Future. SPIE Vol.3299 (1998), 38-46

[11] McCann, J.J.; Color Theory and Color Imaging Systems: Past, Present and Future. Journal of Imaging Science and Technology, Vol.42,1 (1998), 70-78

Tab.1: Die v.Laue-Gleichung beschreibt die adaptive trichromatische Resonanz der diffraktiven 3D-Gitter.

Die v.Laue-Gleichung für diffraktive Raumgitter verlangt für das Zustandekommen konstruktiver Interferenzmaxima die gleichzeitige Erfüllung der drei Phasenbedingungen in Gl.|1|:

$$(\cos\alpha - \cos\alpha^\circ) = h1\ \lambda / gx$$
$$(\cos\beta - \cos\beta^\circ) = h2\ \lambda / gy \quad |1|$$
$$(\cos\gamma - \cos\gamma^\circ) = h3\ \lambda / gz$$

(h1h2h3 = Tripel ganzzahliger Beugungsordnungen; $\alpha^\circ,\beta^\circ,\gamma^\circ$ = Aperturwinkel der in das 3D-Gitter einfallenden Lichtkegel zu x,y,z; α,β,γ = Winkel der Beugungsordnungen zu x,y,z; λ = Wellenlänge; gx,gy,gz = Gitterkonstante in x-,y-,z-Achsenrichtung). Legt man eine hexagonale Packung der lichtbeugenden Elemente und Gitterkonstantenmaße in µm von gx = $2\lambda111$, gy = $4\lambda111/\sqrt{3}$, gz = $4\lambda111$ zugrunde, so stellt $\lambda111$ in Gl.|2| die mit maximaler Transmission in die 111-Beugungsordnungsrichtung gebeugte Wellenlänge dar.

$$\lambda h1h2h3 = \lambda111 = \frac{2(\frac{h1}{gx}\cos\alpha\circ + \frac{h2}{gy}\cos\beta\circ + \frac{h3}{gz}\cos\gamma\circ)}{\frac{h1^2}{gx^2} + \frac{h2^2}{gy^2} + \frac{h3^2}{gz^2}}$$

Bei senkrechtem Lichteinfall ($\alpha^\circ=\beta^\circ=90^\circ$, $\gamma^\circ=0^\circ$) resultiert im sichtbaren Spektralbereich (380-780nm) ein Tripel chromatischer Beugungsordnungen

$\lambda111$ (längste Wellenlänge) ROT
$\lambda123$ (mittlere Wellenlänge) GRÜN
$\lambda122$ (kürzere Wellenlänge) BLAU

Die spektralen Transmissionskurven, die zu je einer dieser λmax zentriert sind, besitzen Gauß'sche Form und werden in ihrer HW-Breite durch die Anzahl der im 3D-Gitter vorhandenen Flächengitter in z-Richtung bestimmt. Beim Einfall von ‚weißem' Licht, d.h. in allen spektralen Komponenten energiegleichen Licht in das in die Bildebene des abbildenden Systems eingelagerten Gitters ergeben sich die Trichromatik der Beugungsordnungen bei

$\lambda111$ ROT = 559nm
$\lambda123$ GRÜN = 537nm
$\lambda122$ BLAU = 447nm

Es liegt damit eine trichromatische Stimmung des 3D-Gitters vor, die auf der resonatorischen Einstellung der Gitterkonstanten gx und gz auf ganzzahlige $\lambda111$ beruht und in der in den RGB-Beugungsordnungen ein trichromatisches Gleichgewicht (Patterson-Amplituden²-Gewichte) zustandekommt.

Bei adaptiver chromatischer Umstimmung des 3D-Gitters auf eine andere als eine ‚weiße' Beleuchtung bleibt die Relation der RGB-λmax (1 : 0.96 : 0.8 bzw. 25 : 24 : 20) stets erhalten. Lediglich die $\lambda111$ shiftet beim Wechsel zu einer ‚blauen' Beleuchtung zu kürzeren, beim Wechsel zu einer ‚roten' Beleuchtung zu längeren $\lambda111$-Wellenlängen. Die adaptive Shift endet mit der vollständigen Adaptation an die neue Beleuchtung, d.h. mit dem resonatorischen Auffinden eines neuen RGB-Gleichgewichts, der trichromatisch-additiven Weißnorm, die den Farbenraum neu zentriert. Der eigentliche Resonanzfaktor ist die Phasengeschwindigkeit $n\nu\lambda = c$ (n = Brechungsindex des Mediums, ν = Frequenz des Lichts, c = Lichtgeschwindigkeit)[4].

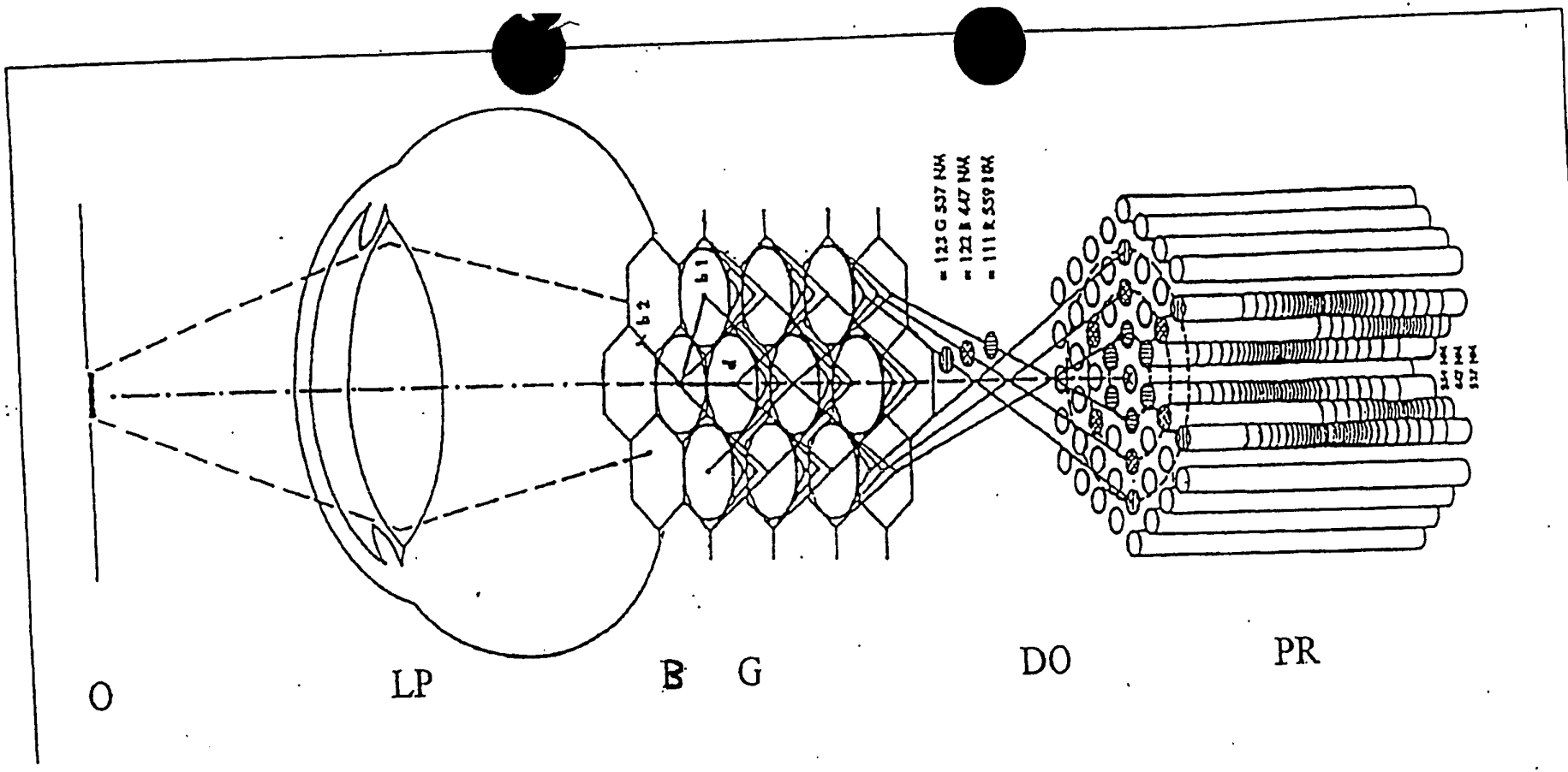
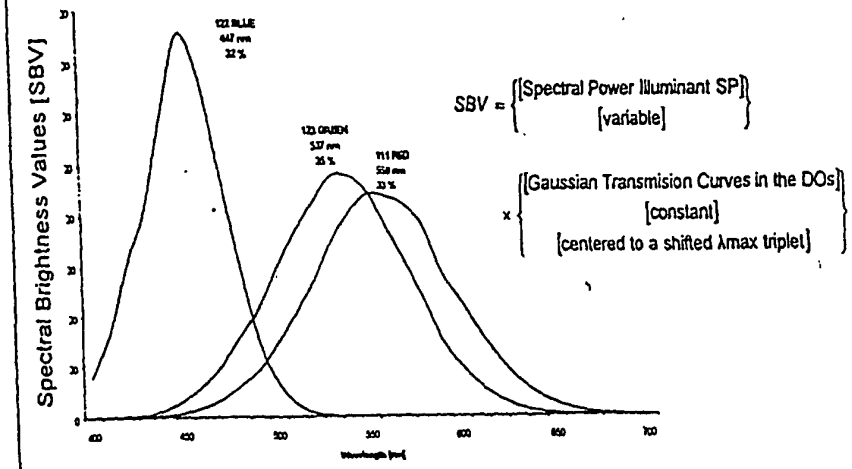


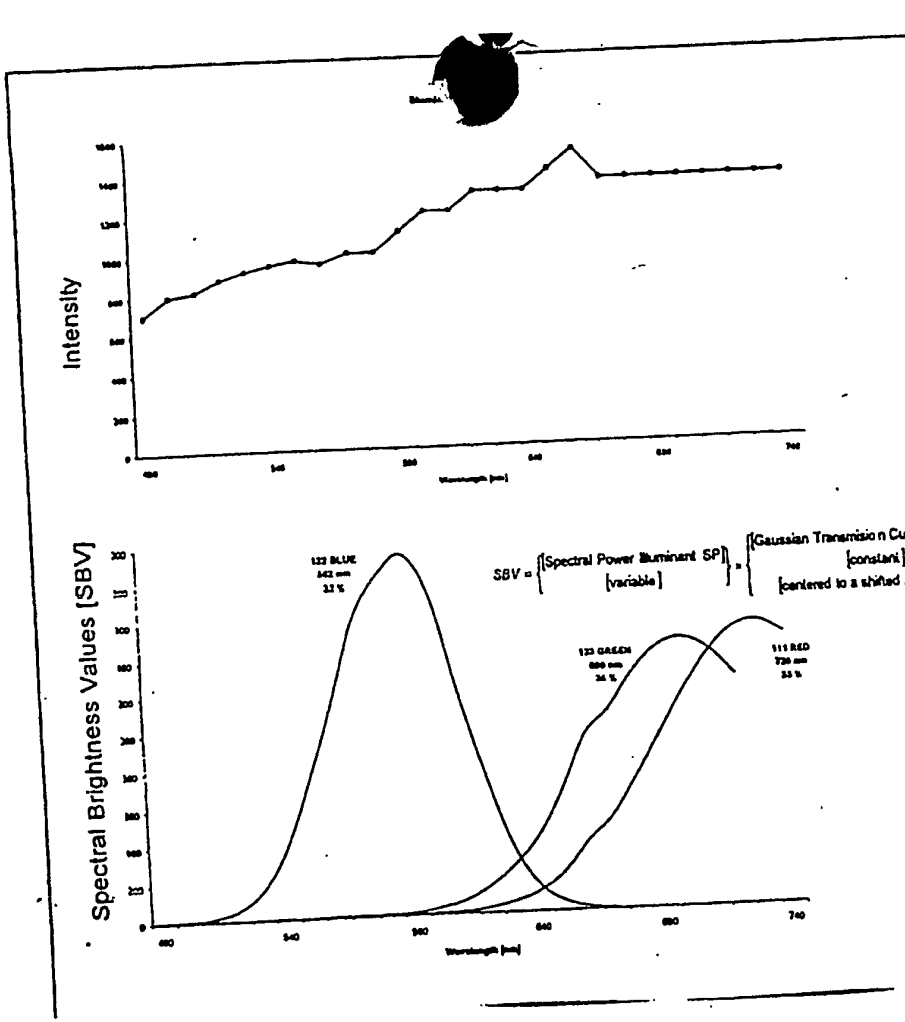
Abb.1: Diffraktives 3D-Gitter in der Bildebene eines optischen Abbildungssystems.
Ein Linsen-Pupillensystem (LP) bildet sichtbare Objekte (O) auf ein diffraktives 3D-Gitter (G) mit den Gitterkonstanten gx,gy,gz in der Bildebene (B) ab. Durch Beugung im hexagonalen 3D-Gitter, Resonanz zwischen λ111 (s.Tab.1) und den Gitterkonstanten sowie Interferenz im Nahfeld hinter dem Gitter resultieren im sichtbaren Spektrum drei chromatische RGB-Beugungsordnungen mit je 6 konzentrischen Maxima (Patterson-Gewichte)(ROT innen, B Mitte, G außen). Durch Einlagerung diffus streuender Gitter (oder biologischer Medien) in Pupillennähe im LP-System kann in der Bildebene ein ‚inkohärenter Untergrund' (globale Information) der lokalen Bildinformation optisch unterlegt werden (s.Text).





able	Spectral	Spectral Brightness Values (SBV)			
ectrum	Power (SP)	122	123	111	
mbda	Illuminant	BLUE	GREEN	RED	Sum RGB
(nm)	Standard	447 nm	537 nm	559 nm	
400	600	156	1		157
410	625	337	2		339
420	650	612	6	1	619
430	600	830	12	3	845
440	700	1195	29	7	1231
450	850	1508	67	18	1593
460	880	1364	124	37	1525
470	870	991	203	69	1263
480	860	620	319	122	1061
490	820	300	430	185	915
500	840	135	592	289	1016
510	830	49	733	408	1190
520	820	15	844	539	1398
530	850	4	951	700	1655
540	840	1	951	810	1762
550	830		885	878	1763
560	800		749	869	1618
570	800		612	835	1447
580	800		466	752	1218
590	720		297	570	867
600	740		201	461	662
610	730		122	336	458
620	730		70	232	302
630	700		36	144	180
640	700		18	87	105
650	680		8	48	56
660	690		3	26	29
670	700		1	13	14
680	710			6	6
690	650			2	2
700	600			1	1
Sum	23235	8117	8732	8448	25297
%	100	32	35	33	100

Abb.2: Adaptation an eine ‚weiße' Beleuchtung (energiegleiche spektrale Komponenten).
Ein diffraktives hexagonales 3D-Gitter (Gitterkonstanten wie in Tab.1) adaptiert im sichtbaren Spektralbereich mittels optischer Resonanz an eine ‚weiße' Beleuchtung (mittleres Sonnenlicht) und liefert drei Beugungsordnungen, deren Gauß'sche spektrale Transmissionkurven (zugleich spektrale Hellempfindlichkeitskurven entsprechend abgestimmter Photoempfänger) zu λ111 = 559nmROT, λ123 = 537nmGRÜN und λ122 = 447nmBLAU zentriert sind (entsprechend den Zapfen im menschlichen Tagessehen)(Die Gauß'kurven sind mit $a^{-1} \exp(-x^2)$ [x = λh1h2h3 - λ/n] und a = 0.92, n = 55 für 111ROT, a = 0.88, n = 53 für 123GRÜN und a = 0.56, n = 34 für 122BLAU beschreibbar). Die achromatischen (grauen bis weißen) Objekte 'spiegeln' die spektralen Eigenschaften der Beleuchtung im Objektraum wieder, insofern sie selbst unsichtbar sind. Das Produkt aus spektralen Intensitäten und spektralen Gauß'kurven ergibt identische Helligkeitssummenwerte



lambda (nm)	Spectral Power (SP) Illuminant Red (T 3)	Spectral Brightness Values (SBV) 122 BLUE 582 nm	123 GREEN 699 nm	111 RED 728 nm	Sum RGB
490	700	1			1
500	800	4			4
510	820	17			17
520	880	56			56
530	920	158			158
540	950	371			371
550	970	724	1		725
560	950	1138	3		1141
570	1000	1619	5	1	1625
580	1000	1840	7	3	1850
590	1100	1936	17	5	1958
600	1200	1698	39	6	1743
610	1200	1149	77	13	1239
620	1300	707	151	31	889
630	1300	339	257	61	657
640	1300	137	404	113	654
650	1400	50	639	211	900
660	1500	16	935	367	1318
670	1350	3	1071	500	1574
680	1350	1	1269	710	1980
690	1350		1402	943	2345
700	1350		1440	1173	2613
710	1350		1379	1365	2744
720	1350		1230	1489	2719
730	1350		1021	1519	2540
740	1350		789	1449	2238
750	1350		568	1295	1863
760	1350		381	1084	1465
Sum	32790	11964	13085	12338	37387
%	100	32	35	33	100

Abb.3: Adaptation an eine rote Beleuchtung.
Die 3D-gitteroptische resonatorische Adaptation an eine rote Beleuchtung (aus [2]) führt – wie Abb.4 näher illustriert – über eine chromatische Stimmung der 3 Gitterkonstanten auf λ111 = 728nmROT (λ123 = 699nmGRÜN und λ122 = 582nmBLAU) zu einer neuen – nach dem längerwelligen Ende des Spektrum hin verschobenen – trichromatischen RGB-Gleichgewichtslage, die die neue Weiß-Norm bildet. In dem Produkt aus variabler spektraler Energieverteilung im Beleuchtungslicht und konstantem Tripel der Gauß'kurven (s.Abb.2) resultieren die neuen Verteilungen der spektralen Helligkeitswerte in den RGB-Beugungsordnungen.

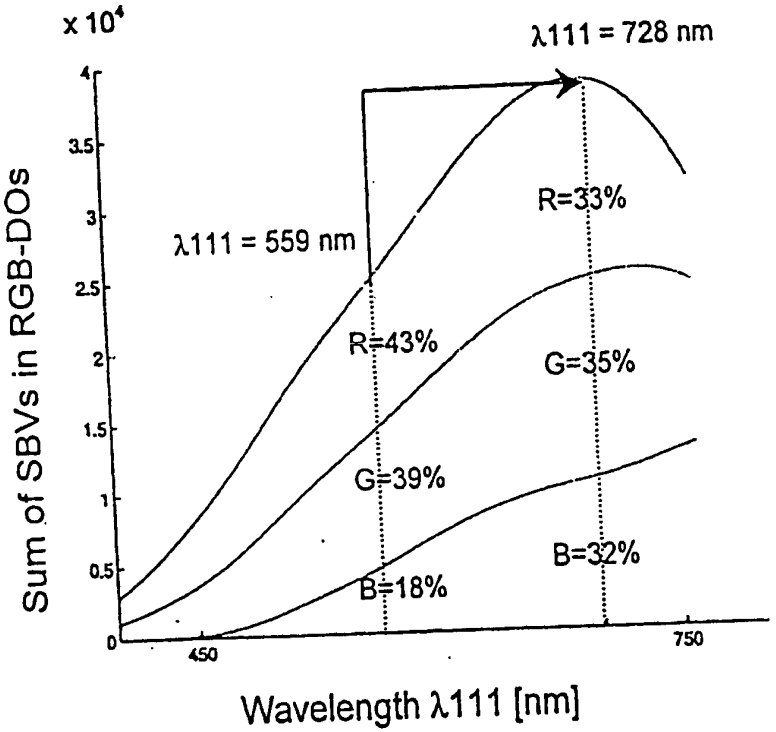
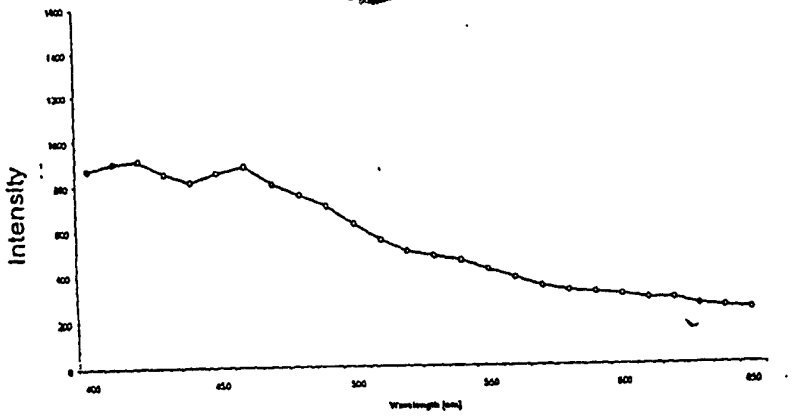
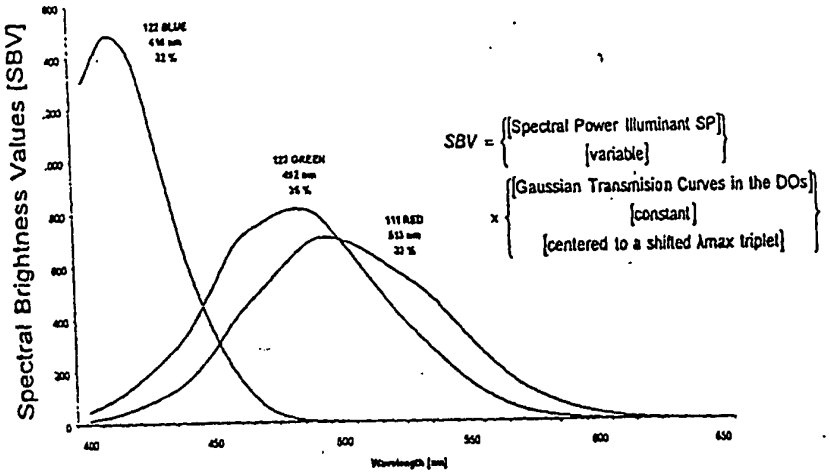


Abb.4: Ablauf des Adaptationsvorgangs an eine rote Beleuchtung.
Der resonatorische Adaptationsvorgang beginnt mit einem Ungleichgewicht in den RGB-Beugungsordnungen (43%R, 39%G, 18%B), das durch den plötzlichen Wechsel von der weißen zur roten Beleuchtung ausgelöst wurde. Allmählich fortschreitende 3D-gitteroptische Resonanz mit längeren λ111-Wellenlängen führt letztendlich zu der chromatischen Gitterkonstantenstimmung auf λ111 = 728nmROT und damit zu dem neuen RGB-Gleichgewicht (33%R, 35%G, 32%B). Es wird dort erreicht, wo ehedem die trichromatische Summe der Helligkeitswerte (Pattersongewichte in den Beugungsordnungen) ihr neues Maximum erreicht.





Spectrum lambda (nm)	Spectral Power (SP) Illuminant Blue (T 1)	Spectral Brightness Values (SBV) 122 BLUE 410 nm	123 GREEN 492 nm	111 RED 513 nm	Sum RGB
400	870	1304	47	15	1366
410	900	1481	91	32	1604
420	910	1384	159	62	1605
430	850	1004	241	103	1348
440	810	625	346	164	1135
450	850	360	509	271	1140
460	880	172	688	411	1271
470	800	61	760	513	1334
480	750	18	807	619	1444
490	700	5	795	695	1495
500	620	1	692	693	1386
510	550		561	648	1209
520	500		435	582	1017
530	480		331	516	847
540	460		234	428	662
550	420		147	315	462
560	380		85	216	301
570	340		45	137	182
580	320		24	86	110
590	310		12	51	63
600	300		5	29	34
610	280		2	15	17
620	280		1	8	9
630	250			3	3
640	240			1	1
650	230			1	1
Sum	14280	6415	7017	6614	20046
%	100	32	35	33	100

Abb.5: Adaptation an eine blaue Beleuchtung.
Die 3D-gitteroptische resonatorische Adaptation an eine blaue Beleuchtung (aus [2]) führt – wie Abb.6 näher illustriert – über eine chromatische Stimmung der 3 Gitterkonstanten auf $\lambda 111 = 513$nmROT ($\lambda 123 = 492$nmGRÜN und $\lambda 122 = 410$nmBLAU) zu einer neuen – nach dem kurzwelligen Ende des Spektrum hin verschobenen – trichromatischen RGB-Gleichgewichtslage, die die neue Weiß-Norm bildet. In dem Produkt aus variabler spektraler Energieverteilung im Beleuchtungslicht und konstantem Tripel der Gauß'kurven (s.Abb.2) resultieren die neuen Verteilungen der spektralen Helligkeitswerte in den RGB-Beugungsordnungen.

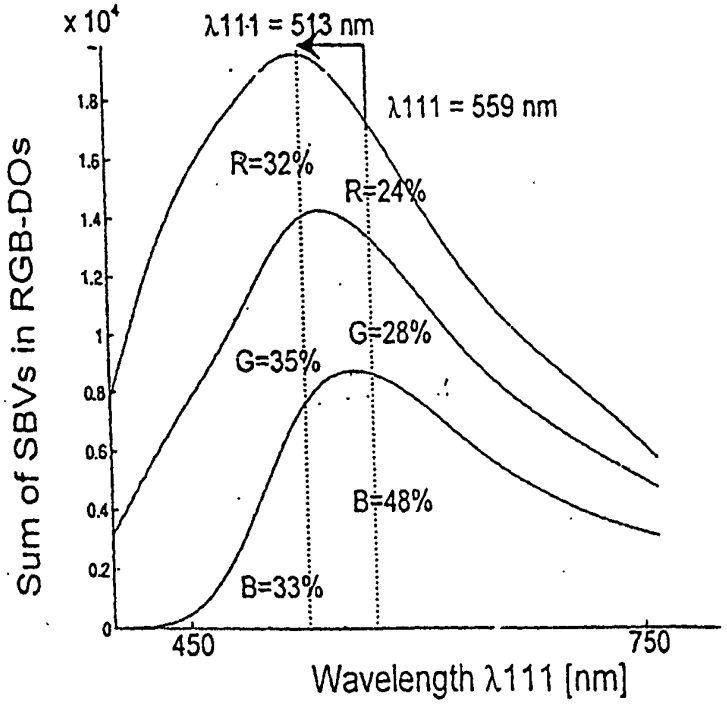


Abb.6: Ablauf des Adaptationsvorgangs an eine blaue Beleuchtung.
Der resonatorische Adaptationsvorgang beginnt mit einem Ungleichgewicht in den RGB-Beugungsordnungen (24%R, 28%G, 48%B), das durch den plötzlichen Wechsel von der weißen zur blauen Beleuchtung ausgelöst wurde. Allmählich fortschreitende 3D-gitteroptische Resonanz mit kürzeren λ111-Wellenlängen führt letztendlich zu der chromatischen Gitterkonstantenstimmung auf λ111 = 513nmROT und damit zu dem neuen RGB-Gleichgewicht (32%R, 35%G, 33%B). Es wird dort erreicht, wo ehedem die trichromatische Summe der Helligkeitswerte (Pattersongewichte in den Beugungsordnungen) ihr neues Maximum erreicht.